

АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ОКРЕСТНОСТИ ЛОКАЛЬНОГО ОСАДКА СЕРЕБРА

А.Н. Купо

Одним из перспективных направлений гальванотехники является лазерная гальваностегия – формирование электрохимических покрытий, стимулированное лазерным излучением. Этот метод, благодаря возможностям управления пространственными, энергетическими и временными параметрами лазерного луча, обеспечивает локальное стимулирующее воздействие на электрохимический процесс, что позволяет реализовать нанесение локальных металлических осадков, применимых в микроэлектронике. Поскольку лазерное излучение создает на поверхности подложки тепловой источник, актуальной задачей является анализ температурного поля в окрестности зоны термического воздействия (ЗТВ).

В данной работе проведён анализ экспериментального распределения температуры по поверхности латунной подложки в процессе формирования покрывных электрохимических осадков серебра при стимуляции лазерным излучением с длиной волны 1,06 мкм и плотностью мощности $4,5 \cdot 10^6$ Вт/см². Выбранная для анализа теоретическая модель (см., например, /1/) представлена формулой (1), описывающей зависимость температуры на поверхности пластинки толщиной δ от времени осаждения τ и расстояния r от центра (ЗТВ).

$$\Delta T = \Theta \cdot \sqrt{\frac{r_0}{r}} \cdot \int_0^{\xi(\tau)} \operatorname{erfc}\left(\frac{r-r_0}{2 \cdot \delta \cdot \sqrt{w}}\right) \cdot e^{-\beta^2 \cdot w} dw \quad (1)$$

Здесь r_0 – радиус ЗТВ, $\xi(\tau) = \chi \tau / \delta^2$, $\Theta = q_0 \delta / K$, $\beta^2 = 2H\delta / K$, H – коэффициент теплообмена, K , χ – коэффициенты тепло- и температуропроводности материала.

В существующих теоретических моделях разогрева пластины малой толщины полагается, что теплообмен нижней и верхней поверхностями пластины с электролитом происходит по закону Ньютона и характеризуется коэффициентом теплообмена H (как видно из формулы (1), $H \sim \beta^2$). При этом коэффициент теплообмена считается независимым от времени и координат.

Нами проведена аппроксимация формулой (1) в среде MathCad 7.0 Pro данных эксперимента /2/, о распределении температуры на расстояниях (0,1; 0,137; 0,173; 0,21; 0,25; 0,29; 0,33) см от центра ЗТВ, полученные в течение 1000 сек от начала осаждения. В результате с шагом 60 секунд получен массив β_j , содержащий значения β для точек r_j в моменты времени τ_j . Проведённые вычисления показывают, что коэффициент теплообмена H является функцией как расстояния от центра ЗТВ, так и времени осаждения.

Показано, что полученные зависимости $\beta(\tau)$ аналогичны по виду для каждой из точек r_j и хорошо аппроксимируются простой формулой:

$$\beta(\tau) = A \cdot e^{-k \tau} + \beta_0, \quad (2)$$

где β_0 – значение величины β , соответствующее стационарному температурному режиму, устанавливающемуся в процессе лазерного электрохимического осаждения. Использование формулы (2) в выражении (1) позволяет получить непрерывные кривые $\Delta T(\tau)$ для каждой из точек r_j , отражающие реальную динамику температурного поля с погрешностью 12% (см. рисунок). Для всех значений r_j наблюдаются зависимости $\Delta T(\tau)$, аналогичные приведённой на рисунке. Установлено, что в процессе формирования покрытия из серебра изменение теплообменного коэффициента H с указанной погрешностью зависит от времени по закону:

$$H(\tau) = \frac{K}{2 \cdot \delta} \cdot \beta^2(\tau) \quad (3)$$

Таким образом, в результате проведённых исследований показано, что временная зависимость коэффициента теплообмена во всех точках поверх-

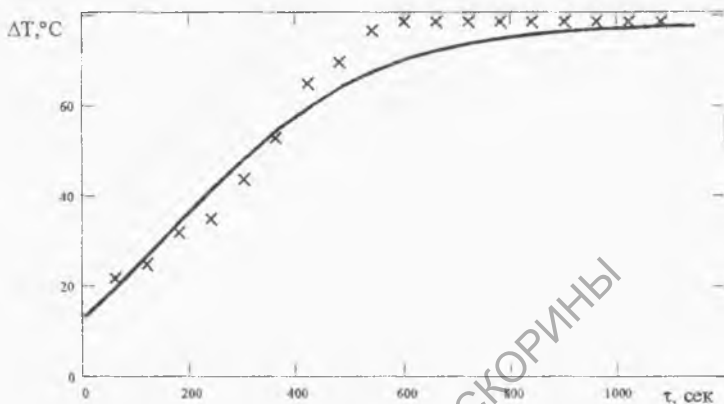


Рисунок – Динамика температуры на расстоянии $r=0,1$ см от ЗТВ при лазерном электрохимическом осаждении серебра

ности катода имеет одинаковый характер и описывается формулами (1) – (2).

Наибольшее значение коэффициент теплообмена имеет в начальный момент времени и монотонно убывает в течение всего процесса осаждения. Достижение стационарного температурного поля характеризуется стабилизацией коэффициента теплообмена в каждой точке, при этом зависимость его от координаты r сохраняется.

Изменение коэффициента теплообмена с изменением расстояния от центра ЗТВ можно объяснить тем, что над поверхностью подложки при различных r протекают процессы, характеризующие различные механизмы формирования гальванического осадка. Так, вблизи зоны действия лазерного излучения в большей мере реализуется механизм микропузырькового кипения, обеспечивающий интенсивное осаждение гальванического покрытия и приводящий к формированию локального осадка. По мере удаления от зоны ЗТВ проявляется механизм термоградиентной конвекции, эффективность которой снижается по мере перемещения к периферии, где стимуляции осаждения не наблюдается.

Литература:

1. Серянов Ю.В., Аравина Л.В. Лазерно-химические реакции для получения элементов ИЭТ. / Обзоры по электронной технике. Серия 7. Технология, организация производства и оборудование. – 1990. Вып. 11. – 42 с.

N.N. Fedosenco, V.G. Sholoh, A.N. Kupo. The analysis of temperature fields generated under electrochemical deposition of metals stimulated by laser radiation, Abstract, International Conference "Problems of Interaction of Radiation with Matter". Book of Abstracts. / Edit. Igor V. Semchenko, Sergey A. Khakhomov. - Belarus. Gomel. 2001. p. 55